การลดของเสียจากกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า

นางสาวธนิยา ลิ่มชูเชื้อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-2645-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

10 ก.ย. 2546

I20697181

DEFECT REDUCTION IN HEAT SINK TOWER PRODUCTION PROCESS BY APPLYING SIX SIGMA APPROACH

Ms. Thaniya Limchoochua

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2002
ISBN 974-17-2645-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดของเสียจากกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน โดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า
โดย	นางสาวธนิยา ลิ่มชูเชื้อ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดารงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นภัสสวงศ์ โอสถศิลป์)

ธนิยา ลิ่มชูเชื้อ : การลดของเสียจากกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน (HEAT SINK TOWER) โดยการประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า (DEFECT REDUCTION IN HEAT SINK TOWER PRODUCTION PROCESS BY APPLYING SIX SIGMA APPROACH) อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา, 281 หน้า. ISBN 974-17-2645-7

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อนโดยนำวิธีการตามแนวทางซิกซ์ ซิกม่ามาประยุกต์ใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิต เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ซึ่งเป็นข้อกำหนดด้านผลิตภัณฑ์ของลูกค้าและหาเงื่อนไขที่เหมาะสมของปัจจัยดังกล่าวในการผลิตที่จะทำให้ปริมาณของเสียลดลง โดยหน่วยวัดผลระดับการปรับปรุงของการวิจัยที่กำหนดคือปริมาณของของเสียที่เกิดขึ้นในหน่วย Defect Part Per Million (DPPM) ซึ่งก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 48,332 DPPM

ขั้นตอนการวิจัยจะดำเนินตามขั้นตอนตามวิธีการทางซิกซ์ ซิกม่าทั้ง 5 ขั้นตอน โดยเริ่มจากการขั้นตอนนิยามปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ และขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต ตามลำดับ ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของกระบวนการ คือ สามารถกำหนดค่าของระดับของปัจจัยนำเข้าที่มีนัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน (Dt) ในกระบวนการ QA Thermal Checking มีค่าเฉลี่ยลดลงจากเดิมโดยการนำปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองโดยใช้วิธีการของพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method) ในขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ แล้วนำไปวิเคราะห์หาระดับที่เหมาะสมของการปรับค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องนั้น เพื่อทำให้ได้ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำที่สุดที่เหมาะสมของกระบวนการที่สามารถทำได้ คือ 19.07 องศาเซลเซียส โดยการกำหนดค่าระดับของขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน (Mesh) ชั้นนอกมีขนาด 165 เวลาในกระบวนการไล่ก๊าซออกควรใช้เวลาอยู่ที่ 34.62 วินาที และอุณหภูมิของการอบไนโตรเจนเท่ากับ 510 องศาเซลเซียส แล้วทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลก่อนนำไปใช้งานจริงในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการควบคุมปัจจัยนำเข้าที่สำคัญทั้งสามด้วยกระบวนการเชิงสถิติในขั้นตอนการควบคุมกระบวนการ

จากข้อมูลหลังการปรับปรุงกระบวนการ พบว่า สามารถที่จะลดความสูญเสียได้เป็นจำนวนเงิน 1,108,250 บาท โดยพิจารณาจากระยะเวลาระหว่างการดำเนินการวิจัย ซึ่งคิดเป็น 56 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนของเสียที่ลดได้จากการปรับปรุงกระบวนการผลิตมีปริมาณของเสียเท่ากับ 19,255 DPPM

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ธนิยา ลิ่มชูเชื้อ .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4370649221: MAJOR INDUSTRY ENGINEERING
KEY WORD: SIX SIGMA / HEAT SINK TOWER / DEFECT PART PER MILLION / DEFINE PHASE / MEASURE PHASE / ANALYZE PHASE / IMPROVE PHASE / CONTROL PHASE

THANIYA LIMCHOOCHUA : DEFECT REDUCTION IN TOWER HEAT SINK TOWER PRODUCTION PROCESS BY APPLYING SIX SIGMA APPROACH THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PARAMES CHUTIMA ,Ph.D.,281 pp. ISBN 974-17-2645-7

The objective of this research is to reduce the number of defects in heat sink tower process. Six Sigma Approach is applied not only to study the factors influencing the heat transfer difference (Dt) and the product specification limit, but also to identify the appropriate operative conditions for reducing defects. The efficient improvement is measured by the number of defects in Defect Part Per Million (DPPM) unit. The current process has 48,332 DPPM.

The study has been proceeded according to the five-phase improvement models of Six Sigma methodology. The process begins with defining phase, measuring phase, analyzing phase, improving phase and controlling phase respectively. The result of the process is to determine KPIVs that significantly effect to decrease Dt values in QA thermal checking process. Four KPIVs have been used to perform an experiment with response surface in improvement phase. It is found that the appropriate minimum Dt is 19.07 ^{o}C, the size of outer mesh is 165, the degassing time is 34.62 second, and the temperature of N2 is 510 ^{o}C. The preliminary experiments are conducted to confirm the results before applying to production line. Finally, the results of the statistical analysis are set at the process of control phase.

The data of Dt defects after improving the process show 19,255 DPPM which is equal to 56 % of the amount of defects after improving the process. In addition, it could reduce cost about 1,108,250 baht.

Department Industrial Engineering
Field of study Industrial Engineering
Academic year 2002

Student's signature Thaniya
Advisor's signature .....
Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ทำวิจัยขอกราบขอบพระคุณต่อ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งเป็นผู้ที่ให้ความรู้ทางทฤษฎีหลักการ ตลอดจนแนวทางการแก้ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในระหว่างการทำวิจัยอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัยครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และอาจารย์ ดร. นภัสวงศ์ โอสถศิลป์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ พร้อมทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องภายในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณะผู้บริหารโรงงานตัวอย่าง รวมถึง คุณณัฐพงศ์ หนูดำ และ คุณฉกาจ ศรีสัตนาถ ที่อนุญาตให้ผู้วิจัยได้ใช้สถานที่ดำเนินการวิจัย ขอขอบคุณสมาชิกทุกท่านที่ได้ให้ข้อมูลและเข้าร่วมการระดมความคิดเห็นในการทำการวิจัย ตลอดจนพนักงานในโรงงานตัวอย่างที่ให้ความร่วมมือในการทำการทดลองเป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ พี่น้อง เพื่อนนิสิต นอกจากนั้น ขอขอบคุณทุกท่านที่มิได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจแก่ผู้ทำวิจัยเสมอมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูป..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 ประวัติความเป็นมาและรายละเอียดของโรงงานกรณีศึกษา..... 1
1.3 การศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน..... 3
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4
1.5 ขอบเขตการวิจัย..... 4
1.6 แนวทางของการดำเนินการวิจัย..... 5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7

บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2.1 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 8
2.2 การสำรวจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 20
2.3 บทสรุปการสำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 51

บทที่ 3 การนิยามปัญหา
3.1 บทนำ..... 56
3.2 การกำหนดทีมงานดำเนินงาน..... 57
3.3 การศึกษากระบวนการผลิต..... 57
3.4 สภาพปัญหาในปัจจุบัน..... 59
3.5 การกำหนดปัญหา..... 59
3.6 การกำหนดขั้นตอนการดำเนินงานและเครื่องมือที่เลือกใช้..... 64
3.7 สรุปการนิยามปัญหา..... 66

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา หน้า

4.1 บทนำ 67

4.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด 68

4.3 การวิเคราะห์ปัญหาจากสาเหตุและผล 83

4.4 การวิเคราะห์ปัญหาจากการหาความสัมพันธ์สาเหตุและผล 86

4.5 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) 91

4.6 สรุปผลขั้นตอนการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา 101

บทที่ 5 การกำหนดระดับของปัจจัยนำเข้าสำหรับทดสอบสมมติฐาน

5.1 บทนำ 103

5.2 ปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน 103

5.3 สรุประดับของปัจจัยนำเข้าที่นำมาทดสอบสมมติฐาน 119

บทที่ 6 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

6.1 บทนำ 120

6.2 การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมมติฐาน 122

6.3 สรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัยมีความแตกต่างกัน
จากการทดสอบสมมติฐาน 165

บทที่ 7 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

7.1 บทนำ 166

7.2 ปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 168

7.3 ตัวแปรตอบสนอง 168

7.4 การออกแบบการทดลอง 169

7.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 171

7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 175

7.7 การออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลางที่มีการเพิ่มจุดศูนย์กลาง 181

7.8 ค่าเงื่อนไขของปัจจัยที่เหมาะสมจากการทดลอง 193

7.9 สรุปในขั้นตอนแก้ไขกระบวนการ 195

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 8 การทดสอบยืนยันผล หน้า

8.1 บทนำ 196
8.2 ขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล 196
8.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 197
8.4 สรุปขั้นตอนการทดสอบยืนยันผล 199

บทที่ 9 การควบคุมกระบวนการผลิต

9.1 บทนำ 200
9.2 เทคนิคของการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ 202
9.3 ความสูญเสียที่สามารถลดได้ 212
9.4 สรุปขั้นตอนการควบคุมการผลิต 213

บทที่ 10 บทสรุปและข้อเสนอแนะ

10.1 บทนำ 214
10.2 บทสรุปขั้นตอนต่างๆในการดำเนินการวิจัย 215
10.3 ข้อจำกัดในงานวิจัย 219
10.4 ข้อเสนอแนะ 219

รายการอ้างอิง 221
บรรณานุกรม 223

ภาคผนวก 226

ภาคผนวก ก ผลจากการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการในตอนต้น 227
ภาคผนวก ข รายละเอียดของกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน 229
ภาคผนวก ค ค่าผลการทดสอบค่าความแม่นยำของระบบการวัด 252
ภาคผนวก ง ค่าผลการทดสอบสมมติฐานของปัจจัยทั้งหมด 256
ภาคผนวก จ ค่าผลการทดสอบการยืนยันผลการทดสอบ 258
ภาคผนวก ฉ ค่าผลการปรับปรุงกระบวนการผลิต 260
ภาคผนวก ช วิธีการลดระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนกับท่อความร้อนโดยการเคาะ .. 274

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 281

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ลำดับของความสามารถด้านศักยภาพของกระบวนการตามค่าดัชนี Cp 31
2.2 ค่าดัชนี Cpและสัดส่วนประมาณการของผลิตภัณฑ์บกพร่องของกระบวนการ 31
2.3 ตารางสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 51
3.1 ตารางแสดงข้อมูลบางส่วนของผลิตภัณฑ์ภายในแผนก 60
3.2 ตารางแสดงการคำนวณค่า Defect, DPU, DPPM 62
3.3 ตารางแสดงเครื่องมือที่เลือกใช้และตัววัดผลของขั้นตอนต่าง ๆ 64
4.1 ตารางแสดงผลการประเมินความผันแปรของการวัดอุณหภูมิในระบบเก่า 71
4.2 ตารางแสดงผลการประเมินความผันแปรของการวัดอุณหภูมิในระบบใหม่ 77
4.3 ตาราง ANOVA ของการศึกษา GR&R ของการ
วัดอุณหภูมิ ณ กระบวนการ QA. Thermal Checking 80
4.4 ตาราง ANOVA แบบลดรูปของการศึกษา GR&R ของ
วัดอุณหภูมิ ณ กระบวนการ QA. Thermal Checking 81
4.5 ตารางแสดงผลการประเมินความผันแปรของการวัด
อุณหภูมิ ณ กระบวนการ QA. Thermal Checking 81
4.6 ตารางแสดงผลการประเมินเปอร์เซ็นต์ความผันแปรของการวัด
วัดอุณหภูมิ ณ กระบวนการ QA. Thermal Checking 81
4.7 ตารางแสดงผลค่าตัวแปรนำเข้าที่สามารถนำเข้า
ที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้ 85
4.8 ตารางแสดงการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและผลของกระบวนการ 87
4.9 ตารางแสดงลำดับของทั้ง 35 KPIV อันดับ 89
4.10 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ 92
4.11 ตารางแสดงสาเหตุของปัญหาและค่า RPN 99
5.1 ตารางแสดงช่วงของช่องว่างที่มีการผลิตจากผู้ผลิต 107
5.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของจาระบี 2 ชนิด 118
5.3 ตารางสรุปปัจจัยในการทดสอบสมมติฐาน 119
6.1 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน
ของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงาน
ในกระบวนการปกติและชิ้นงานที่มีการทำความสะอาดด้วยฟรีออน 125

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.2 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย
ของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงาน
ในกระบวนการปกติและชิ้นงานที่มีการทำความสะอาดด้วยฟรีออน..... 126

6.3 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน
ของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุน
เท่ากับ 0.077 mm.และชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุนเท่ากับ 0.014 mm..... 129

6.4 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย
ของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุน
เท่ากับ 0.077 mm.และชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุนเท่ากับ 0.014 mm..... 131

6.5 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน
ของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุน
เท่ากับ 0.077 mm.และชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุนเท่ากับ 0.014 mm..... 134

6.6 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ย
ของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุน
เท่ากับ 0.077 mm.และชิ้นงานที่มีความยาวด้านรูพรุนเท่ากับ 0.014 mm..... 135

6.7 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่าย
เทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนกับท่อความร้อน (Gap) และ
ชิ้นงานที่ไม่เกิดระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนกับท่อความร้อน (Non-Gap)..... 138

6.8 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่าย
เทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนกับท่อความร้อน (Gap) และ
ชิ้นงานที่ไม่เกิดระยะห่างระหว่างวัสดุพรุนกับท่อความร้อน (Non-Gap)..... 140

6.9 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่าย
เทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่ผ่านการอบไนโตรเจนโดยใช้อุณหภูมิ495 องศาเซลเซียส
และชิ้นงานที่ผ่านการอบไนโตรเจนโดยใช้ อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส..... 143

6.10 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่าย
เทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่ผ่านการอบไนโตรเจนโดยใช้อุณหภูมิ495 องศาเซลเซียส
และชิ้นงานที่ผ่านการอบไนโตรเจนโดยใช้ อุณหภูมิ 525 องศาเซลเซียส..... 144

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

6.11 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของค่าผลต่าง ของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีน้ำหนักน้ำ 2 กรัม และชิ้นงานที่มีน้ำหนักน้ำ 3 กรัม..... 147

6.12 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่าง ของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่มีน้ำหนักน้ำ 2 กรัม และชิ้นงานที่มีน้ำหนักน้ำ 3 กรัม..... 149

6.13 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของ ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่ใช้ เวลาในการไล่ก๊าซ 30 วินาทีและชิ้นงานที่เวลาในการไล่ก๊าซ 45 วินาที..... 152

6.14 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของ ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากชิ้นงานที่ใช้ เวลาในการไล่ก๊าซ 30 วินาทีและชิ้นงานที่เวลาในการไล่ก๊าซ 45 วินาที..... 153

6.15 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวน ของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจาก ชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ ชนิด XNR 3501 และชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ ชนิด H-67..... 156

6.16 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของ ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจาก ชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ ชนิด XNR 3501 และชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ ชนิด H-67..... 158

6.17 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าความแปรปรวนของ ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจาก ชิ้นงานที่ใช้จาระบีชนิด G-749 และชิ้นงานที่ใช้จาระบีชนิด TIG-7500..... 161

6.18 ตารางแสดงผลการทดสอบความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของ ค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจาก ชิ้นงานที่ใช้จาระบีชนิด G-749 และชิ้นงานที่ใช้จาระบีชนิด TIG-7500..... 162

6.19 ตารางสรุปความมีนัยสำคัญของแต่ละปัจจัย..... 164

6.20 ตารางแสดงสรุปปัจจัยที่ระดับของปัจจัย มีความแตกต่างจากผลการทดสอบสมมติฐาน..... 165

7.1 แสดงปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่จะนำไปทำการทดลอง..... 168

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

7.2 ตารางผลการทดลอง..... 170

7.3 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง(Coded Units)..... 178

7.4 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลอง(Uncoded Units)..... 179

7.5 ตารางแสดงผลการทดลอง..... 181

7.6 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Coded Units)..... 186

7.7 ตารางแสดงผลการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ (Uncoded Units)..... 187

7.8 ตารางแสดงปัจจัยและการกำหนดค่าที่เหมาะสมของระดับ..... 194

9.1 ตารางผลตอบแทนหลังการปรับปรุงกระบวนการผลิต..... 212

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ผลิตภัณฑ์หลักภายในองค์กร 2
1.2 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน 3
1.3 การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตครีบระบายความร้อน 3
1.4 แนวทางการดำเนินงาน 8 ขั้นตอน 5
2.1 หลักการดึง 13
2.2 หลักการผลัก 13
2.3 แผนภาพกระบวนการองการออกแบบการทดลองด้วยวิธีพื้นผิวผลตอบ 14
2.4 ระดับการควบคุมคุณภาพ 16
2.5 หลักการทำงานของกาลักความร้อน 22
2.6 โครงสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อความร้อน 23
2.7 สภาวะกระบวนการ 28
2.8 แผนภาพแสดงปัจจัยร่วมในการทดลอง 42
2.9 แผนภาพแสดงTreatment Combination 43
2.1 กราฟเส้นโค้งโครงร่างของพื้นผิวผลตอบ 44
2.11 วิธีการอย่างมีลำดับขั้นตอนของการวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบ 45
2.12 กราฟเส้นโค้งโครงร่างและพื้นผิวผลตอบของผลตอบหลายตัว 45
2.13 กฎ 8 ข้อของ Control Chart 50
3.1 แผนภาพกระบวนการผลิตรวม 58
3.2 สัดส่วนของปริมาณของเสียเฉลี่ย 60
3.3 กราฟช่วงอายุของผลิตภัณฑ์ 61
3.4 แผนภาพพาเรโตของกระบวนการต่างๆตามปริมาณของเสีย 63
4.1 แผนภาพการทำงานของระบบการวัด 70
4.2 แผนภาพการประเมินความผันแปรของระบบการวัด 72
4.3 การทำงานที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ 73
4.4 การใช้โปรแกรมที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ 74
4.5 การปรับตั้งอุณหภูมิน้ำร้อน 74
4.6 การจุ่มชิ้นงานมาตรฐานเพื่อวัดอุณหภูมิ 74

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 การยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงานมาตรฐาน 75
4.8 การทดสอบชิ้นงาน 76
4.9 การยอมรับหรือปฏิเสธชิ้นงาน 76
4.10 แผนภาพการประเมินความผันแปรของระบบการวัดแบบใหม่ 78
4.11 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ 80
4.12 แผนภาพการประเมินความผันแปรของระบบการวัด 82
4.13 แผนภาพแสดงเหตุและผล 84
4.14 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ 90
4.15 ผังพาเรโตจัดลำดับความสำคัญของค่า RPN 100
5.1 วิธีการล้างด้วยฟรีออน 105
5.2 เครื่องล้างฟรีออน 105
5.3 เครื่องล้าง Ultrasonic ในกระบวนการทำงานปกติ 105
5.4 ขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน 106
5.5 แผ่นวัสดุพรุน เบอร์ 50 106
5.6 ภาพขยายวัสดุพรุน เบอร์50 และ เบอร์ 200 108
5.7 ภาพแสดงส่วนประกอบภายในท่อความร้อน 110
5.8 ชั้นวัสดุพรุนที่ยาวไม่เท่ากัน 110
5.9 การอบไนโตรเจน 112
5.1 ระบบการทำให้เป็นสุญญากาศด้วยวิธีการ Exhaust 112
5.11 หลักการทำงานของการทำให้เป็นระบบสุญญากาศด้วยการไล่ก๊าซออก 114
5.12 การชั่งน้ำหนักน้ำ 115
5.13 หัวไล่อากาศ 116
5.14 ตำแหน่งการทาอีพอกซี่ 117
5.15 ลักษณะการทาจาระบี 118
6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วน / ใช้ในการคำนวณสิ่งตัวอย่าง 122
6.2 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานปกติ 123
6.3 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน
ของชิ้นงานที่ล้างด้วยฟรีออน 124

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.4 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ของชิ้นงานปกติและของชิ้นงานที่ล้างด้วยฟรีออน..... 125
6.5 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ของชิ้นงานปกติและของชิ้นงานที่ล้างด้วยฟรีออน..... 127
6.6 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ ชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.077 mm..... 128
6.7 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ ชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.014 mm..... 128
6.8 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ของชิ้นงานปกติและของชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.077 mm..... 130
6.9 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ของชิ้นงานปกติและของชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.077 mm..... 129
6.10 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ ชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.077 mm..... 132
6.11 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ ชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.014 mm..... 133
6.12 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ของชิ้นงานปกติและของชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.077 mm..... 134
6.13 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ของชิ้นงานปกติและของชิ้นงานที่มีความยาวรูพรุน 0.077 mm..... 136
6.14 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ ชิ้นงานที่มีช่องว่าง..... 137
6.15 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ ชิ้นงานที่ไม่มีช่องว่าง..... 137
6.16 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน ของชิ้นงานที่มีช่องว่างและชิ้นงานที่ไม่มีช่องว่าง..... 139

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.17 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน
ของชิ้นงานที่มีช่องว่างและชิ้นงานที่ไม่มีช่องว่าง..... 140
6.18 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ
ชิ้นงานที่อุณหภูมิในการอบ 495 C..... 141
6.19 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ
ชิ้นงานที่อุณหภูมิในการอบ 525 C..... 142
6.20 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน
ของชิ้นงานที่อุณหภูมิในการอบ 495 C และชิ้นงานที่อุณหภูมิในการอบ 525 C..... 143
6.21 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน
ของชิ้นงานที่อุณหภูมิในการอบ 495 C และชิ้นงานที่อุณหภูมิในการอบ 525 C..... 145
6.22 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ
น้ำหนักน้ำ 2 กรัม..... 146
6.23 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ
น้ำหนักน้ำ 3 กรัม..... 146
6.24 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน
ของชิ้นงานน้ำหนักน้ำ 2 กรัม.และชิ้นงานน้ำหนักน้ำ 3 กรัม..... 148
6.25 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน
ของชิ้นงานน้ำหนักน้ำ 2 กรัม.และชิ้นงานน้ำหนักน้ำ 3 กรัม..... 149
6.26 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ
ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการไล่อากาศ 30 วินาที..... 150
6.27 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ
ชิ้นงานที่ใช้เวลาในการไล่อากาศ 45 วินาที..... 149
6.28 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงาน
ที่ใช้เวลาในการไล่อากาศ 30 วินาทีและชิ้นงานที่ใช้เวลาในการไล่อากาศ 45 วินาที..... 152
6.29 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่
ใช้เวลาในการไล่อากาศ 30 วินาทีและชิ้นงานที่ใช้เวลาในการไล่อากาศ 45 วินาที..... 154
6.30 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของ
ชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ XNR3501..... 155

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

6.31 กราฟนอร์มัลพล็อตของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ H-67 155

6.32 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ XNR3501และชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ H-67 157

6.33 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ XNR3501และชิ้นงานที่ใช้อีพอกซี่ H-67 158

6.34 กราฟนอร์มัลพล็อตค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ใช้จาระบี G-749 159

6.35 กราฟนอร์มัลพล็อตค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ใช้จาระบี TIG-7500 160

6.36 กราฟความเท่ากันของความแปรปรวนของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ใช้จาระบี G-749และชิ้นงานที่ใช้จาระบี TIG-7500 161

6.37 กราฟความเท่ากันของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อนของชิ้นงานที่ใช้จาระบี G-749และชิ้นงานที่ใช้จาระบี TIG-7500 163

7.1 แผนภูมิสถิติเชิงพรรณาของตัวแปรตอบสนอง 171

7.2 กราฟกระจายของค่าส่วนตกค้าง 172

7.3 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและลำดับของข้อมูล 173

7.4 แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและค่าที่ถูกฟิต 174

7.5 กราฟนอร์มัลแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ 175

7.6 แผนภูมิพาเรโตแสดงปัจจัยหลักและอันตรกิริยาที่มีนัยสำคัญ 176

7.7 ภาพผลหลักของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 176

7.8 ภาพอันตรกิริยาของปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง 177

7.9 ภาพข้อมูลที่ได้จากการทดลอง 177

7.10 แผนภูมิสถิติเชิงพรรณาของตัวแปรตอบสนอง 182

7.11 กราฟกระจายของค่าส่วนตกค้าง 183

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
7.12	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและลำดับของข้อมูล	184
7.13	แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเศษเหลือและค่าที่ถูกฟิต	185
7.14	กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน ชั้นนอกกับอุณหภูมิการอบไนโตรเจน	188
7.15	กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน ชั้นนอกกับอุณหภูมิการอบไนโตรเจน	189
7.16	กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน ชั้นนอกกับเวลาในการไล่ก๊าซออก	189
7.17	กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน ชั้นนอกกับเวลาในการไล่ก๊าซออก	190
7.18	กราฟโครงร่างระหว่างปัจจัยอุณหภูมิการอบไนโตรเจน กับเวลาในการไล่ก๊าซออก	190
7.19	กราฟพื้นผิวผลตอบระหว่างปัจจัยอุณหภูมิการอบไนโตรเจน กับเวลาในการไล่ก๊าซออก	191
7.20	กราฟโครงร่าง overlaid ระหว่างปัจจัยขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน ชั้นนอกกับอุณหภูมิการอบไนโตรเจน	192
7.21	กราฟโครงร่าง overlaid ระหว่างปัจจัยขนาดช่องว่างของวัสดุพรุน ชั้นนอกกับเวลาในการไล่ก๊าซออก	192
7.22	กราฟโครงร่าง overlaid ระหว่างปัจจัยอุณหภูมิการอบไนโตรเจน กับเวลาในการไล่ก๊าซออก	193
7.23	ผลการวิเคราะห์ระดับที่เหมาะสมของปัจจัยนำเข้าที่สำคัญ	194
8.1	กราฟการกระจายของค่าเฉลี่ยของค่าผลต่างของการถ่ายเทความร้อน	198
8.2	กราฟการวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการ	199
9.1	แผนภูมิควบคุม X - R สำหรับค่าอุณหภูมิการอบไนโตรเจน	205
9.2	OCAP สำหรับอุณหภูมิการอบไนโตรเจน	206
9.3	แผนภูมิควบคุม X- R สำหรับค่าเวลาในการไล่ก๊าซออก	200
9.4	OCAP สำหรับเวลาในการไล่ก๊าซออก	209
9.5	การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิตหลังการปรับปรุง	210
9.6	แสดงวงจรซิกซ์ ซิกม่า	211